



TITLE:

Study on Beam Forming for Phased Array  
Antenna of Panel-structured Solar Power  
Satellite( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Ishikawa, Takaki

---

CITATION:

Ishikawa, Takaki. Study on Beam Forming for Phased Array Antenna of Panel-structured  
Solar Power Satellite. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19712>

RIGHT:

京都大学	博士（ 工 学 ）	氏名	石川 峻樹
論文題目	Study on Beam Forming for Phased Array Antenna of Panel-structured Solar Power Satellite (パネル構造型宇宙太陽発電所におけるフェーズドアレーアンテナのためのビーム形成技術の研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、パネル構造を持つ宇宙太陽発電所(SPS)における送電ビームの制御を目的として、実際のフェーズドアレーを用いた実験および SPS のビーム制御手法についてシミュレーションによる検討を行ったものであって、7章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、研究の背景として、無線電力伝送、SPS、パネル構造型 SPS についての概要の説明を行い、SPS に関する研究における本研究の位置づけを示した。</p> <p>第 2 章では、パネル構造型 SPS のビーム制御における課題及び制御手法について述べた。まず、SPS は大型かつ薄型の構造物であることから、振動による変形が発生するという問題について述べ、送電を行うためには変形による影響を補正するビーム制御が必要であることを述べた。また、SPS において用いることが提案されている 4 つの手法について、特徴を述べ、比較を行うことにより、本研究において検討を行う PAC 法と呼ばれるビーム制御手法が、パネル構造型 SPS のビーム制御に適していることを確認した。</p> <p>第 3 章では、マイクロ波無線電力伝送の実験用に開発されたフェーズドアレーシステム(APAS)を用いた実験および送電ビームのシミュレーションについて述べた。APAS はパネル構造型 SPS における送電パネルの試作モデルとして製作されたシステムであり、本システムを用いたビーム制御実験を行うことにより、送電システムの有効性を実証することができる。そこで、APAS を用いたビーム方向制御実験を行うとともに、より高度な制御が必要とされる平坦ビームの形成実験を行い、フェーズドアレーによるビーム制御の有効性を実験的証明した。また、シミュレーションによる検討も行い、実験結果と比較することにより、シミュレーションの精度についても確認を行うとともに、実際の SPS の送電パネルを模擬したモデルについて、シミュレーションによるビーム制御の評価を行い、理想的な制御が行えた場合の送電能力の評価を行った。</p> <p>第 4 章では、制御の概要についての提案のみが行われていた PAC 法について、シミュレーションおよび解析的手法を用いた制御精度の評価について述べた。PAC 法は、受電施設から送電位置の特定のために発信されるパイロット信号を利用して、ビームの制御を行う。まず、理想的な場合と測定に誤差が生じる場合について、PAC 法による制御のシミュレーションを行うことで、その有効性を示した。次に、解析的手法を用いた制御精度の評価およびシミュレーションによる制御精度の評価を行い、PAC 法の制御精度に関する検討を行った。結果として、パイロット信号の測定点の配置が制御精度に大きくかかわっていることを示し、高精度な制御を行うためには測定点の間隔を広くとる必要があることを示した。</p> <p>第 5 章では、PAC 法におけるアンビギュイティによる問題について述べ、その対策についての提案及び評価について述べた。まず、PAC 法により高精度な制御を行うためには、測定点の間隔を広くとる必要があるが、一方で、測定点の間隔を広くした場合には、PAC 法のパネル角度推定においてアンビギュイティと呼ばれる推定の誤りが生じることを示した。そこで、測定点の数を増やすことによる不等間隔アレーを利用したアンビギュイティ除去手法についての提案を行った。送電への影響も考慮した検</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	石川 峻樹
<p>討を行ったところ、一軸方向のパネルの角度を求めるためには、測定点を4点配置する必要があることがわかった。また、実際のパネル構造型 SPS で用いられる、パネルの接続部の角度をある程度の範囲で制御する平面度維持技術を利用したアンビギュイティ除去手法についての提案も行った。検討の結果、平面度維持技術を利用することにより、測定点の数が3点でも一軸方向のパネルの角度を確実に推定できることが確かめられた。</p> <p>第6章では、パイロット信号の受信用のアンテナに関する検討について述べた。前章までの検討では、パイロット信号の受信素子として大きさを持たない点を仮定して検討を行っていたが、実際に受信アンテナの設計を行うことで、実際の SPS における PAC 法の適用についての検討を行った。共振周波数の異なる送電アンテナと受信アンテナを、比誘電率の異なる基板を利用することにより、同じサイズできることを、実際に設計を行うことで示し、これらのアンテナを置き換えることにより、PAC 法による制御を行うことを提案した。また、アンテナ間の結合等がパイロット信号の測定に与える影響についてもシミュレーションによる評価を行い、受信アンテナ同士が隣接しないように配置することで問題なく測定が行えることを示した。加えて、前章において提案したアンビギュイティ除去手法についても、受信アンテナを用いた場合でも有効であることを示し、これにより、実際の SPS においても PAC 法による制御を行うことができることを示した。</p> <p>第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、パネル構造を持った宇宙太陽発電所(SPS)における送電ビーム制御を対象とした検討を行い、送電パネルのビーム制御の能力の評価や SPS のアンテナのゆがみを補正するビーム制御手法の精度評価および実際の SPS への適用に関する提案を行ったものであり、成果は以下のとおりである。

1. 生存圏研究所に導入された高度マイクロ波電力伝送用フェーズドアレーシステムを用いた実験を行い、シミュレーションの結果と比較することにより、ビーム制御における制御精度やシミュレーション精度の評価を行った。このとき、単純なビーム方向制御だけではなく、平坦ビームという高度な位相制御が必要となるビームについても検討を行い、実際にビーム形成を行なえることを確認した。
2. 測定で誤差が生じる場合の制御精度について、解析的方法およびシミュレーションによる検討を行うことで制御において発生する誤差の大きさを示し、制御精度が最もよくなる測定点の配置を示した。
3. PAC 法の制御における制御において問題となる、パネル角度推定の不確かさ（アンビギュイティ）によって発生する誤りについて、対策の提案とその効果の検証を行った。測定点を増やす手法およびパネル平面度維持技術を利用した手法について述べ、シミュレーションによりアンビギュイティの除去に有効であることを示した。
4. PAC 法を実際の宇宙太陽発電において運用するために必要となる、信号受信用アンテナを設計することで配置法を提案し、また電磁界シミュレーションにより、受信アンテナと周囲のアンテナの干渉による影響の検討も行い、問題なく運用が行えることを示した。
5. 宇宙太陽発電の送電パネルのビームについても、シミュレーションによる検討を行い、ビーム方向制御時の強度の変化を示した。

以上を要するに本論文は、フェーズドアレーによる高精度なビーム制御の実証や制御手法の精度の評価および実際のシステムにおける運用法の提案など、パネル構造型 SPS の実現において重要となるいくつかの要素を達成しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 2 月 22 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。